

**Donetsk National  
Technical University**



**Донецький національний  
технічний університет**

# **Задачи по курсу «Электроэнергетические системы»**



## ЗАДАЧА № 1

Выполнить расчет параметров суточных и годового графика нагрузок. Для графиков за характерные сутки: среднюю нагрузку  $P_{\text{ср}}$ , максимальную нагрузку  $P_{\text{max}}$ , коэффициент заполнения графика  $k_{\text{зп}}$ . Для годового графика дополнительно определить время использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}}$ .

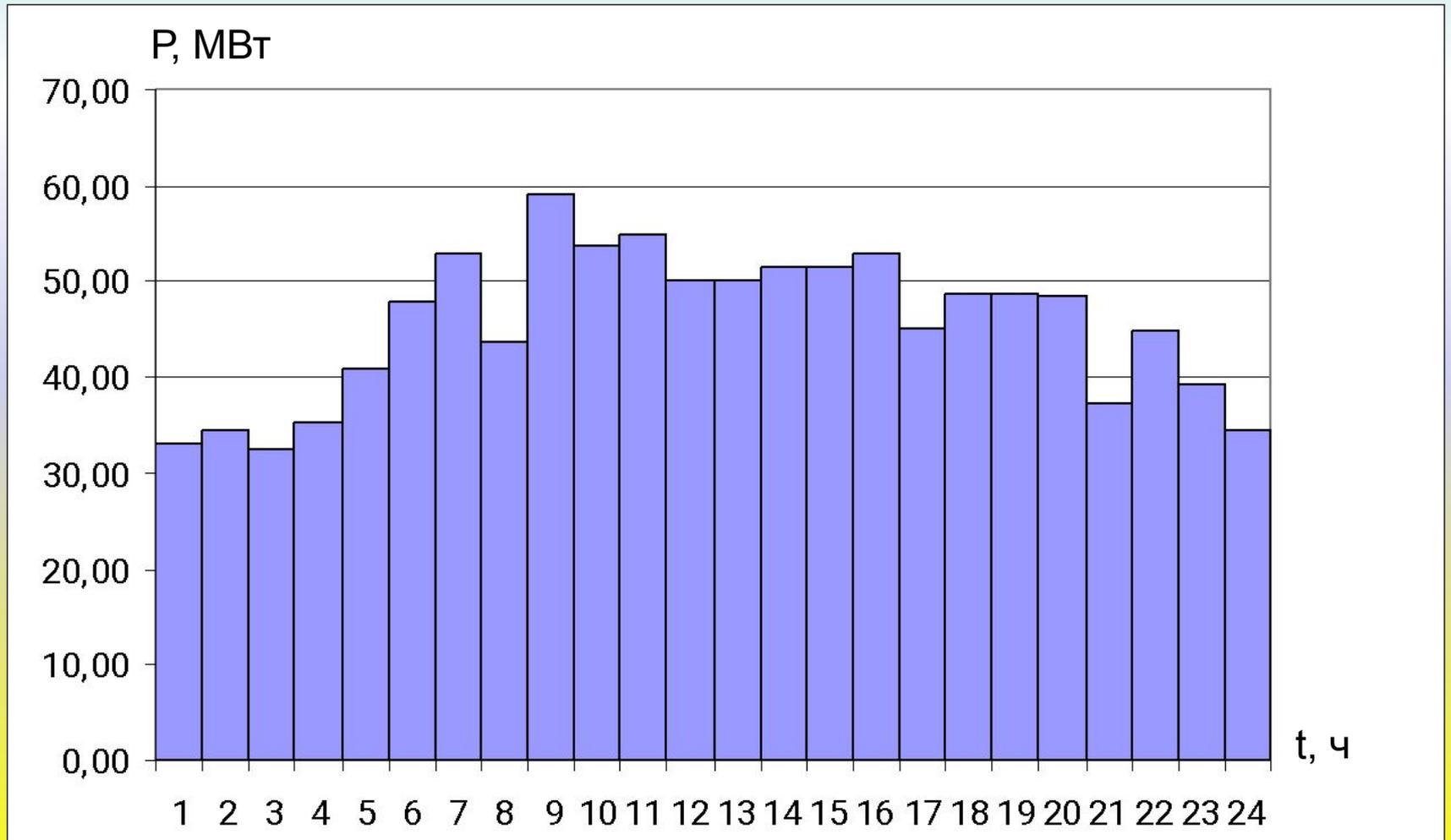
## Нагрузка за режимные зимние сутки, МВт

Время	Н 1	Н2	Н 3	Σ
1	7,52	13,75	11,89	<b>33,16</b>
2	9,29	15,31	9,79	<b>34,39</b>
3	10,16	14,59	7,70	<b>32,45</b>
4	11,90	14,36	9,09	<b>35,34</b>
5	15,72	16,02	9,09	<b>40,83</b>
6	19,28	17,23	11,49	<b>48,00</b>
7	24,89	17,60	10,49	<b>52,98</b>
8	18,41	15,46	9,79	<b>43,66</b>
9	30,59	17,60	10,98	<b>59,16</b>
10	26,30	15,68	11,89	<b>53,86</b>
11	30,67	15,68	8,45	<b>54,80</b>
12	25,45	15,68	9,09	<b>50,22</b>
13	24,53	13,75	11,89	<b>50,17</b>
14	26,30	16,02	9,09	<b>51,41</b>
15	26,30	14,36	10,99	<b>51,64</b>
16	24,53	19,38	9,09	<b>53,00</b>
17	19,28	15,44	10,49	<b>45,21</b>
18	17,54	19,61	11,56	<b>48,71</b>
19	17,54	19,26	11,89	<b>48,70</b>
20	19,28	19,26	9,79	<b>48,33</b>
21	17,54	9,82	9,79	<b>37,15</b>
22	15,77	18,66	10,49	<b>44,93</b>
23	10,16	17,23	11,89	<b>39,28</b>
24	6,31	18,20	9,79	<b>34,30</b>
Wсут	<b>455,26</b>	<b>389,94</b>	<b>246,48</b>	<b>1091,68</b>

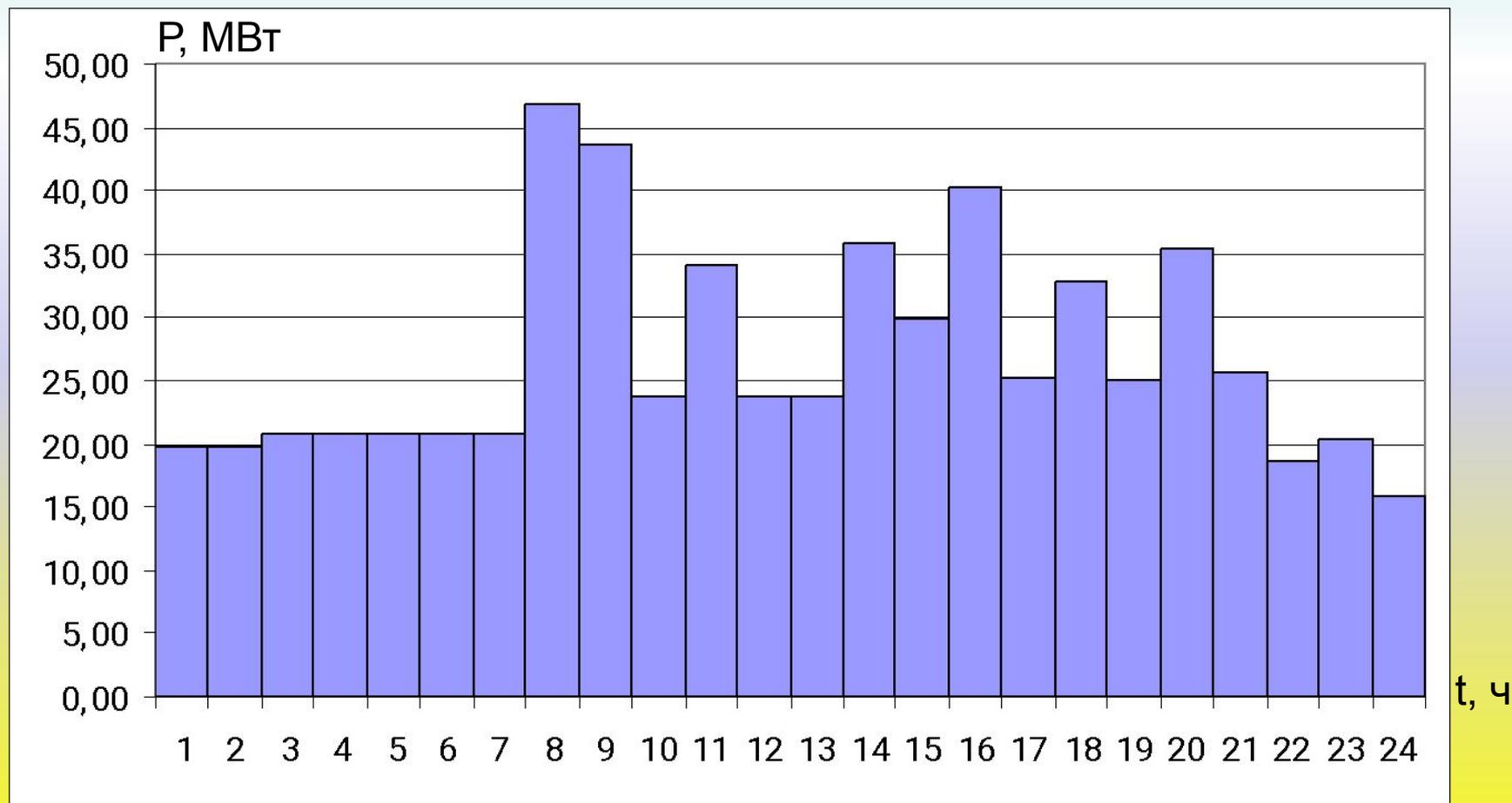
## Нагрузка за режимные летние сутки, МВт

Время	Н 1	Н2	Н 3	Σ
1	7,21	9,3508	3,21	<b>19,77</b>
2	7,21	9,3508	3,21	<b>19,77</b>
3	7,21	9,3508	4,21	<b>20,77</b>
4	7,21	9,3508	4,21	<b>20,77</b>
5	7,21	9,3508	4,21	<b>20,77</b>
6	7,21	9,3508	4,21	<b>20,77</b>
7	7,21	9,3508	4,21	<b>20,77</b>
8	24,03	17,3242	5,54	<b>46,89</b>
9	18,25	18,7598	6,54	<b>43,55</b>
10	7,21	9,3508	7,21	<b>23,77</b>
11	12,03	16,0438	6,1	<b>34,17</b>
12	7,21	9,3508	7,21	<b>23,77</b>
13	7,21	9,3508	7,21	<b>23,77</b>
14	17,99	13,3472	4,46	<b>35,80</b>
15	12,03	13,3472	4,46	<b>29,83</b>
16	24,03	10,6894	5,54	<b>40,26</b>
17	6,01	13,192	6,1	<b>25,31</b>
18	8,40	17,3242	7,21	<b>32,94</b>
19	7,22	11,6788	6,1	<b>25,00</b>
20	12,03	17,3242	6,1	<b>35,45</b>
21	4,81	14,6858	6,1	<b>25,59</b>
22	1,05	12,028	5,54	<b>18,62</b>
23	1,68	12,0086	6,65	<b>20,34</b>
24	1,68	8,0122	6,1	<b>15,79</b>
Wсут	<b>223,33</b>	<b>289,27</b>	<b>131,64</b>	<b>644,24</b>

## Суточный график нагрузки за характерные зимние сутки



## Суточный график нагрузки за характерные летние сутки



Для суточных графиков нагрузки определим  $P_{\max}$ ,  
 $P_{\text{ср}}$ ,  $k_{\text{зн}}$  и  $W_{\text{сут}}$ .

**Зима:**  $P_{\max} = 59,16$  МВт,  $W_{\text{сут}} = 1091,68$  МВт·ч.  
Параметры графика:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{сут}}}{T} = \frac{1091,68}{24} = 45,49 \text{ МВт};$$

$$k_{\text{зн}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}} = \frac{45,49}{59,16} = 0,767.$$

Для суточных графиков нагрузки определим  $P_{\max}$ ,  
 $P_{\text{ср}}$ ,  $k_{\text{зп}}$  и  $W_{\text{сут}}$ .

**Лето:**  $P_{\max} = 46,89$  МВт,  $W_{\text{сут}} = 644,24$  МВт·ч.  
Параметры графика:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{сут}}}{T} = \frac{644,24}{24} = 26,84 \text{ МВт};$$

$$k_{\text{зп}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}} = \frac{26,84}{46,89} = 0,57.$$

Определим параметры годового графика нагрузки.  
Годовое потребление электроэнергии:

$$\begin{aligned} W_{\text{год}} &= W_{\text{сут.зима}} \cdot 213 + W_{\text{сут.лето}} \cdot 153 = \\ &= 1091,68 \cdot 213 + 644,24 \cdot 153 = 331096,56 \text{ МВт.} \end{aligned}$$

Максимальная активная мощность:  $P_{\text{max}} = 59,16$  МВт.

Определим среднюю мощность за год :

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{год}}}{T_{\text{год}}} = \frac{331096,56}{8760} = 37,8 \text{ МВт.}$$

Коэффициент заполнения графика нагрузок:

$$k_{\text{зн}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{max}}} = \frac{37,8}{59,16} = 0,639.$$

Время использования максимальной нагрузки за год:

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} = \frac{331096,56}{59,16} = 5597 \text{ ч.}$$

## ЗАДАЧА № 2

Из энергетической системы А в систему Б, оснащенную астатической системой вторичного регулирования частоты, по линии электропередачи передается активная мощность  $P_{л}=200$  МВт при номинальной частоте.

Мощность нагрузки в системе Б с учетом потерь  $P_{н.ном.Б}=1100$  МВт. Суммарная располагаемая мощность работающих генераторов системы Б  $P_{г.номБ}=950$  МВт

Коэффициент регулирующего эффекта нагрузки  $K_{н}=2$ .

Определить установившееся значение частоты в системе Б после отключения линии электропередачи.

Коэффициент нагрузки определяется по соотношению:

$$k_{\text{н}} = \frac{\Delta P_{*}}{\Delta f_{*}}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{*} = \frac{\Delta P}{P_{\text{г.ном}}}$  - приращение мощности в относительных единицах;

$\Delta f_{*} = \frac{\Delta f}{f_{\text{ном}}}$  - приращение частоты, вызванное нарушением баланса активных мощностей.

Из (1) определим приращение частоты:

$$\Delta f_{*} = \frac{\Delta P_{*}}{k_{\text{н}}} = \frac{P_{\text{л}}}{P_{\text{г.ном}} \cdot k_{\text{н}}} = \frac{200}{950 \cdot 2} = 0,105,$$

где  $\Delta P = P_{\text{л}}$  - приращение активной мощности вызванное отключением линии связи.

Определим установившееся значение частоты:

$$f_{\text{уст}} = f_{\text{ном}} - f_{\text{ном}} \cdot k_{\text{н}} = 50 - 50 \cdot 0,105 = 44,75 \text{ Гц.}$$

## ЗАДАЧА № 3

Два турбоагрегата с номинальной мощностью  $P_{1\text{ ном}} = P_{2\text{ ном}} = 70$  МВт, оснащенные статическими АРЧВ, работают на общую нагрузку при номинальной частоте  $f_{\text{ном}} = 50$  Гц. Оба турбоагрегата загружены полностью.

Коэффициенты статизма АРЧВ и регулирующего эффекта нагрузки соответственно равны:  $K_{c1} = 0,022$ ;  $K_{c2} = 0,03$ ;  $K_n = 2,4$ .

Определить, на сколько процентов увеличится частота, если потребляемая мощность уменьшится на  $\Delta P = 10$  МВт.

Определим коэффициент статизма энергосистемы:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ном.i}}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{ном.i}}{K_{c.i}}} = \frac{70 + 70}{\frac{70}{0,022} + \frac{70}{0,03}} = 0,025.$$

Относительное изменение частоты определим по соотношению:

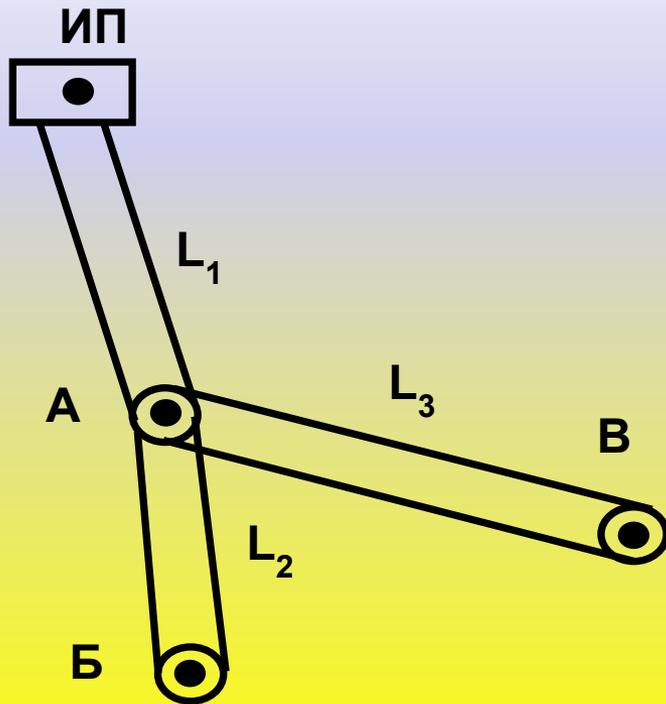
$$\Delta f_* = \frac{K_c}{K_c \cdot K_H + 1} \cdot \Delta P_* = \frac{0,025}{0,025 \cdot 2,4 + 1} \cdot \frac{10}{140} = 0,0017.$$

Частота в энергосистеме изменится на

$$f, \% = \Delta f_* \cdot 100\% = 0,0017 \cdot 100 = 0,17 \%$$

## ЗАДАЧА № 4

Выполнить приближенный расчет нормального и послеаварийного режима электрической сети: потоки мощности в линиях, напряжения в узлах, потери мощности в сети.

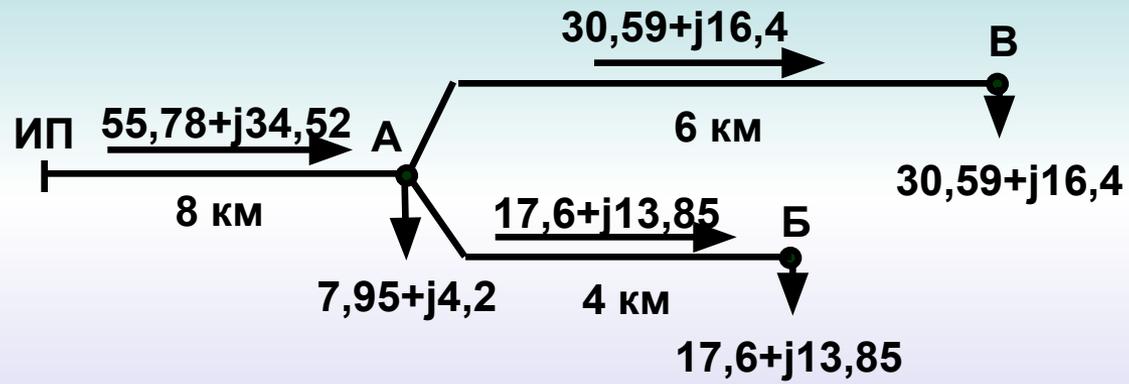


### Исходные данные:

$$U_{\text{ип}} = 121 \text{ кВ},$$
$$P_A = 7,95 \text{ МВт}, Q_A = 4,2 \text{ Мвар};$$
$$P_B = 17,6 \text{ МВт}, Q_B = 13,85 \text{ Мвар};$$
$$P_V = 30,59 \text{ МВт}, Q_V = 16,4 \text{ Мвар};$$
$$L_1 = 8 \text{ км}, L_2 = 4 \text{ км}, L_3 = 6 \text{ км};$$
$$r_0 = 0,275 \text{ Ом/км}, x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}.$$

Рисунок 1- Схема сети

# Распределение мощностей в сети



**Независимым** называется такой ИП, на котором сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках. К независимым ИП относятся две электростанции или ПС, а также разные секции сборных шин одной электростанции или ПС, если каждая из этих секций в свою очередь питается от независимого источника. При небольшой мощности ЭП первой категории в качестве второго ИП можно использовать передвижные или стационарные ДЭС либо аккумуляторные батареи.

Из первой категории выделяют особые группы ЭП, требующие исключительно высокой степени надежности питания. Для таких групп потребителей, кроме двух основных ИП, предусматривается третий (аварийный) независимый источник, который автоматически включается при исчезновении напряжения на основных ИП.

Ко **второй** категории относятся ЭП, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного количества городских жителей. Для ЭП второй категории допустим перерыв в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

К **третьей** категории относятся все остальные, неответственные ЭП: вспомогательные цехи предприятий (ремонтно-механические, инструментальные), небольшие поселки, мелкие предприятия и т. п. Резервирование питания таких ЭП не требуется. Для них допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для подачи временного питания, ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но не более одних суток.

# **Характеристика основных типов электроприемников**

Свойства ЭП, включенных в сеть, обуславливают характер нагрузки сети и ее технико-экономические показатели, оказывают непосредственное влияние на качество электроэнергии. Так, ЭП, создающие неравномерные по фазам нагрузки, вызывают несимметрию токов и напряжений; нелинейные ЭП, являясь источниками высших гармоник токов и напряжений в электрических сетях, увеличивают отклонения напряжения, потери мощности и энергии в сети, нагрев машин; из-за влияния токов высших гармоник, помимо этого, происходят повреждения конденсаторов.

Особенности работы ЭП должны учитываться при проектировании, анализе режимов, а также эксплуатации сетей, от которых питаются рассматриваемые ЭП. Рассмотрим некоторые показатели работы основных типов ЭП.

**Осветительные ЭП.** Для электрического освещения применяют два типа источников света: лампы накаливания и газоразрядные лампы - люминесцентные низкого давления и ртутные высокого давления с исправленной цветностью.

***Лампы накаливания*** общего назначения выпускаются мощностью 40—1500 Вт, отличаются простотой конструкции, непрерывным спектром света, удобством в эксплуатации. Недостатками ламп накаливания являются низкие значения КПД и срока службы.

***Газоразрядные лампы*** обладают высокой световой отдачей, они значительно экономичнее ламп накаливания, однако для их включения требуется специальная пускорегулирующая аппаратура, что приводит к дополнительным потерям мощности, снижению коэффициента мощности, увеличению стоимости светильников.

*Люминесцентные лампы низкого давления* широко применяются для освещения производственных и общественных зданий. Помимо необходимости в пускорегулирующих аппаратах, к их недостаткам относятся зависимость срока службы от частоты включений, колебаний напряжения, температуры окружающей среды.

*Дуговые ртутные люминесцентные лампы высокого давления* с исправленной цветностью типа ДРЛ выпускаются мощностью 80— 1000 Вт. Они обладают высокой световой отдачей, занимают сравнительно небольшой объем, высокоэкономичны, параметры их не зависят от температуры окружающей среды, что позволяет использовать их для освещения улиц и площадей в больших городах.

**Силовые общепромышленные установки.** Под ***общепромышленными*** понимают такие установки, которые имеются на всех промышленных предприятиях независимо от специфики их производства. К силовым общепромышленным установкам относятся компрессоры, вентиляторы, насосы, подъемно-транспортные устройства. Основными силовыми ЭП этих установок являются двигатели, большей частью асинхронные.

Двигатели компрессоров, вентиляторов и насосов работают в продолжительном режиме и, как правило, относятся к ЭП первой категории. Они создают симметричную по фазам нагрузку. Мощность их – до 1000 кВт, напряжение – от 0,22 до 10 кВ, коэффициент мощности составляет  $0,8 \div 0,85$ .

Для привода крупных насосов, компрессоров и вентиляторов могут использоваться синхронные двигатели, работающие с опережающим коэффициентом мощности.

Двигатели подъемно-транспортных устройств работают в повторно-кратковременном режиме и могут питаться переменным током частотой 50 Гц или постоянным током. Для них характерны частые толчки нагрузки. Нагрузка на стороне переменного тока практически симметрична по фазам, коэффициент мощности  $0,3 \div 0,8$ . Подъемно-транспортные устройства относятся к первой или второй категории ЭП.

**Преобразовательные установки.** Эти установки предназначены для преобразования трехфазного тока в постоянный или трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц в трех- и однофазный ток пониженной, повышенной или высокой частот. Преобразовательные установки используются в электролизном, гальваническом и прокатном производствах, электротяге, некоторых видах электросварки и др. Относятся к первой или второй категории ЭП.

## Электросварочные установки.

Различают электросварочные установки постоянного и переменного тока. Установка *постоянного* тока состоит из сварочного генератора постоянного тока и двигателя переменного тока с коэффициентом мощности  $0,7 \div 0,8$  (при холостом ходе до  $0,4$ ). Нагрузка в питающей сети переменного тока по режиму работы — переменная, по фазам распределяется равномерно. Входящие в установку выпрямители создают нелинейность.

Электросварочные установки *переменного* тока имеют мощность до 1500 кВт, напряжение 220 В (50 Гц), работают в повторно-кратковременном режиме и представляют собой однофазную неравномерную нагрузку в виде сварочных трансформаторов для дуговой сварки и сварочных аппаратов для контактной сварки. Коэффициент мощности  $0,3 \div 0,35$  для дуговой сварки и  $0,4 \div 0,7$  для контактной. Сварочные установки вызывают в сетях значительные колебания напряжения, являются ЭП второй категории.

## Прокатные установки.

Электропривод современных прокатных установок отличается большой мощностью и большим числом электродвигателей. Например, для слябинга 1150 используется 400 двигателей общей мощностью 35 тыс. кВт.

Нагрузка прокатных установок по характеру — периодическая, резкопеременная, ударная с набросами реактивной мощности при прокате металла; при включении преобразователей — нелинейная.

**Электрические печи и электротермические установки.** Эти устройства служат для нагрева, расправления металлов, закалки и т. п. По способу превращения электроэнергии в тепловую различают печи сопротивления, индукционные печи, дуговые печи и печи со смешанным нагревом.

В ***печах сопротивления*** нагрев изделия производится от специальных нагревательных элементов или за счет тока, пропускаемого через изделие. Относятся к ЭП второй категории.

В ***индукционных печах*** используется тепло, выделяющееся при прохождении индукционного тока; они применяются для плавления цветных металлов и их сплавов, выплавки высококачественной стали, закалки, сквозного нагрева диэлектриков. Относятся к ЭП второй категории.

В **дуговых печах** нагрев и расплавление металла производятся теплом, выделяемым электрической дугой, горящей между угольными электродами или между электродом и расплавляемым металлом. Это сталеплавильные печи или печи для выплавки меди и ее сплавов. Относятся к ЭП первой категории.

К **печах со смешанным нагревом** принадлежат руднотермические печи и печи электрошлакового переплава. Руднотермические печи, в которых материал нагревается теплом, выделяемым при протекании тока по шихте, используются для получения ферросплавов, корунда, выплавки чугуна, свинца, возгонки фосфора. В печах электрошлакового переплава, применяемых для получения высококачественных сталей и специальных сплавов, нагрев осуществляется за счет тепла, выделяющегося в шлаке при прохождении по нему тока. Шлак расплавляется теплом электрической дуги.

Руднотермические печи относятся к ЭП второй категории, печи электрошлакового переплава — к ЭП первой категории.

## **Бытовые ЭП.** К бытовым ЭП относятся:

- бытовые машины (полотеры, пылесосы, вентиляторы, стиральные машины и т. п.) с асинхронными двигателями, работающими при коэффициенте мощности  $0,6 \div 0,7$  и относительно непродолжительное время в течение года;
- бытовые аппараты (холодильники, кондиционеры, трансформаторы, стабилизаторы напряжения и т. п.). В холодильниках применяются асинхронные двигатели с коэффициентом мощности  $0,56$ . Работа холодильников характеризуется регулярным включением и отключением и суммарной продолжительностью включенного состояния примерно  $1200$  ч/год. Кондиционеры воздуха для жилых зданий оборудуются асинхронными двигателями с коэффициентом мощности  $0,7 \div 0,85$  и в жаркие дни работают с большой продолжительностью (почти круглосуточно);

- электрические нагревательные приборы (стационарные кухонные плиты, радиаторы, греющие панели и маты, водонагревательные колонки и переносные электроплиты, утюги и т. п.). Нагревательные приборы потребляют практически только активную мощность, работают при напряжении 127 и 220 В, продолжительность их работы зависит от многих условий, включая структуру тарифа на электроэнергию;
- ЭП культурно-бытового назначения (телевизоры, радиоприемники, магнитофоны, электропроигрыватели и т. п.). Основное влияние на нагрузку сети оказывают телевизоры и радиоприемники. Коэффициент мощности телевизоров при нормальной работе равен 0,9—0,92. Однако при включении их через стабилизаторы коэффициент мощности комплекта телевизор — стабилизатор существенно ухудшается.

В целом состав бытовых ЭП оказывает не только количественное, но и качественное влияние на нагрузку сети, поскольку современные бытовые ЭП потребляют значительную реактивную мощность.

**Технологические установки в жилых и общественных зданиях.** К технологическим установкам в жилых зданиях относятся лифты, пожарные насосы, насосы водоснабжения и других сантехнических установок. Нагрузка этих силовых ЭП составляет более 10 % общей нагрузки здания высотой до пяти этажей и увеличивается при большей: этажности зданий. Коэффициент мощности в среднем составляет 0,7. Силовая нагрузка культурно-бытовых, просветительных и коммунальных учреждений соизмерима с осветительно-бытовой нагрузкой жилых зданий. Ее коэффициент мощности находится в пределах 0,5÷0,9.

# Графики электрических нагрузок

Потребление электроэнергии зависит от назначения ЭП, режимов их работы, времени и других факторов. Процесс электропотребления во времени отражается графиками нагрузок.

**Графиком электрической нагрузки** называется графическое изображение зависимости электропотребления от времени, на котором по оси абсцисс откладывают время, а по оси ординат — нагрузки в единицах мощности, тока или в процентах относительно максимума нагрузки .

Различают *суточные, сезонные, годовые* графики активной и реактивной нагрузок и *годовые* графики нагрузок по продолжительности.

## Годовой график продолжительности нагрузок

Используя типовые графики электрических нагрузок можно построить графики для наиболее характерных зимних и летних суток. В зависимости от географической широты количество летних и зимних суток различно. Для Украины можно принять действие зимнего графика 213 сут, летнего – 152 сут. На рис.1,а построены два характерных суточных графика (зимний и летний). Для построения годового графика по продолжительности (рис.1,б) по оси ординат откладывают значение нагрузок, начиная с  $P_{\max}$ , а по оси абсцисс – продолжительность действия этой нагрузки в году. Например,  $P_1 = P_{\max}$  действует в течение  $T_1 = t_1 \cdot 213$  ( $t_1$  – время действия в суточном зимнем графике; 213 – число таких графиков в году). Нагрузка  $P_2$  действует в течение  $T_2 = t_2 \cdot 213$  и т.д.

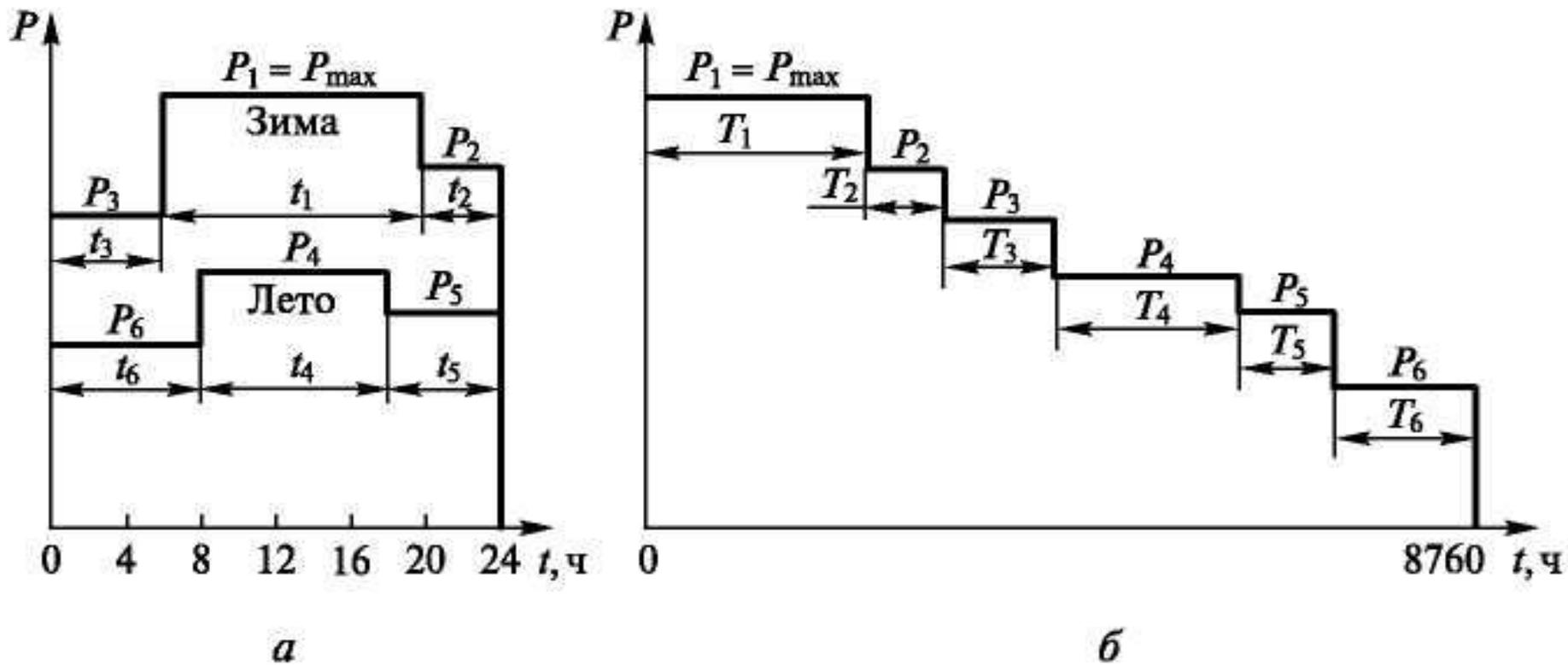


Рисунок 1 – Построение графика продолжительности нагрузок

Годовой график характеризуется следующими показателями. Площадь, ограниченная ступенчатой кривой графика активной нагрузки, численно равна энергии, произведенной или потребленной за рассматриваемый период:

$$W = \sum P_i T_i$$

где  $P_i$  – мощность  $i$ -й ступени;

$T_i$  – продолжительность ступени.

Средняя нагрузка за рассматриваемый период (сутки, год):

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{T}$$

где  $W$  – произведенная или потребленная электроэнергия за этот период;

$T$  – длительность рассматриваемого периода.

Неравномерность графика оценивается коэффициентом заполнения:

$$k_{зп} = \frac{W}{P_{\max} \cdot T} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}}.$$

Чем равномернее график, тем ближе к единице  $k_{зп}$ . Характерна для графика также продолжительность использования максимальной нагрузки:

$$T_{\max} = \frac{W}{P_{\max}} = \frac{P_{\text{ср}} \cdot T}{P_{\max}} = k_{зп} \cdot T.$$

Эта величина показывает, сколько часов за рассматриваемый период  $T$  (обычно год) потребитель должен был бы работать с неизменной максимальной нагрузкой, чтобы выработать (потребить) количество электроэнергии  $W$ , что и при реальном графике нагрузки.